

Андрей Туркин | Михаил Червинский

Новые цветные светодиоды компании Cree: особенности и перспективы использования

➔ В статье приводится обзор новинок в линейке цветных светодиодов компании Cree, рекомендуемых для применения в искусственном освещении растений.

Введение

Внедрение осветительных устройств на основе светодиодов (СД) в настоящее время уже охватило многие области. СД можно встретить повсеместно — от бегущих строк и рекламных табло до автомобильной светотехники и осветительных устройств. Светодиодами и устройствами на их основе сейчас уже трудно удивить потребителей, которые к ним начинают привыкать; разработчики же стараются обосновать преимущества разрабатываемых ими изделий для того или иного применения, а также разъяснить, как лучше и как правильное сконструировать устройство.

Много уже было сказано об истории создания СД, т. е. о том, какой путь они прошли до одного из самых ярких источников света [1–5]. Прорыв в физике и технологии полупроводников, произошедший в середине 90-х годов XX в. благодаря созданию гетероструктур на основе нитрида галлия (GaN) и его твердых растворов с высокими значениями квантового выхода и КПД [1–9], до тех пор никогда не наблюдавшимися у СД, и последовавшее вслед за этим появление СД белого свечения заставили разработчиков взглянуть на них по-другому. СД перестали рассматривать только как источники света для индикаторов и начали применять в светосигнальной аппаратуре [10]. Появление же в самом начале 2000-х годов принципиально нового класса СД — мощных светодиодов — позволило говорить о СД как о новых перспективных источниках света для освещения [4, 7, 11].

В настоящее время такие основные преимущества СД, как высокая световая отдача, компактные размеры, надежность и возможность выбирать необходимый оттенок света, повсеместно используются разработчиками. Несмотря на то, что круг основных типов светодиодных изделий практически сформировался, рынок светотехнических изделий на основе СД продолжает поступательно развиваться. Появляются новые приборы, и связано это, прежде всего, как с новыми поколениями существующих серий СД и изделий на их основе, предлагаемых компаниями-производителями, так и с освоением ими новых типов продукции, до настоящего времени не присутствовавшей в их линейке.

Одной из интересных и перспективных областей применения СД может стать растениеводство. Этому вопросу уже было посвящено несколько публикаций [12–14], в которых говорилось о потенциальной



возможности и перспективах разработки светильников на основе цветных СД для применения в растениеводстве. Действительно, в настоящее время в большинстве тепличных осветительных систем используются адаптированные для растениеводства натриевые лампы высокого давления [12, 13] — так называемые аграрные натриевые лампы. Однако у этих ламп только треть затраченной энергии преобразуется в излучение, эффективное для фотосинтеза, а это означает, что вырабатывается также много лишнего тепла [12–14], что приводит к потреблению нескольких киловатт-часов электроэнергии на 1 м². Применение светодиодных светильников может снизить эту величину в несколько раз. Кроме того, СД способны обеспечить большее соответствие спектра излучения аграрного светильника спектру эффективности фотосинтеза, что позволяет снизить требуемую мощность излучения на единицу площади теплицы, а следовательно, и мощность светильника, в результате чего происходит дополнительное снижение потребления электроэнергии и, как следствие, сокращение затрат [12–14].

Перспективы применения светодиодов в растениеводстве

Главным процессом жизнедеятельности растений, отвечающим за их рост и развитие, является фотосинтез. Более 95% сухого вещества растений создается в результате этого процесса, и управление им является наиболее эффективным путем воздействия на продуктивность и урожайность растений [12, 13].

Источником энергии для фотосинтеза служит преимущественно длинноволновая часть спектра (красные лучи), а влияние коротковолновой части (сине-зеленой) менее существенно. В то же время проводились и другие исследования воздействий излучения видимой части спектрального диапазона на растения, которые показали, что у растений за поглощение света отвечают специальные пигменты, основными из которых являются хлорофиллы а и b и каротиноиды [12, 13]. Хлорофиллы поглощают свет синего и красного диапазонов, а каротиноиды — синего диапазона.

Свет, полученный разными пигментами, расходуется на разные цели:

- пигменты с пиком чувствительности в красной области спектра отвечают за развитие корневой системы, созревание плодов, цветение;

Таблица 1. Основные параметры мощных цветных светодиодов компании Cree

XLamp	ML-E	XT-E	XP-E	XP-E2	XB-D	XQ-E	XM-L
Размер корпуса, мм	3,5×3,45	3,45×3,45	3,45×3,45	3,45×3,45	2,45×2,45	1,6×1,6	5×5
Цвета	Royal Blue Blue Green Amber Red	Royal Blue	Royal Blue Blue Green Amber Red-Orange Red Photo Red Far Red	Royal Blue Blue Green PC Amber Amber Red-Orange Red	Royal Blue Blue Green PC Amber Amber Red-Orange Red	Royal Blue Blue Green Amber Red-Orange Red	RGBW
Преимущества	Возможность формировать равномерные светящиеся поверхности	Высокая производительность и эффективность	Широкий диапазон доступных цветов		Лучшая цена	Компактный корпус, высокая яркость	

- пигменты с пиком поглощения в синей области отвечают за увеличение зеленой массы;
- зеленая часть спектра излучения полезна для фотосинтеза плотных листьев и листьев нижних ярусов, куда синие и красные лучи почти не проникают. Остальные части спектра растениями практически не используются.

В результате исследований было показано, что наиболее благоприятными для выращивания светолюбивых растений являются интенсивности в пределах 150–220 Вт/м² [12–14], а оптимальный состав излучения имеет следующее соотношение энергий по спектру: 30% — в синей области (380–490 нм), 20% — в зеленой (490–590 нм) и 50% — в красной (600–700 нм) [12–14].

Приведенные результаты указывают на возможность применения светодиодных светильников для освещения растений. Современные СД перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до фиолетового цвета. Диапазон длин волн излучения СД в красной области спектра составляет 620–635, в оранжевой — 610–620, в желтой — 585–595, в зеленой — 520–535,

в голубой — 465–475 и в синей — 450–465 нм. Составляя комбинации из СД разных цветных групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом диапазоне.

Новые семейства цветных светодиодов Cree

На сегодня в портфолио дискретных СД компании Cree присутствуют все необходимые цвета, необходимые для формирования спектра сложной формы, оптимизированного для подсветки различных типов растений. Основные параметры мощных цветных СД компании Cree представлены в таблице 1.

Остановимся подробнее на рекомендуемых сериях.

XLamp ML-E хорошо известны на рынке как одни из первых высокоэффективных белых СД средней мощности осветительного класса с изолированным теплоотводом и ANSI-биннингом. Как показано на рис. 1, данная серия также имеет цветные исполнения. Палитра доступных цветов включает в себя глубокий синий (Royal Blue), синий (Blue), зеленый (Green), янтарный (Amber), и красный (Red) цвета. Применение серий

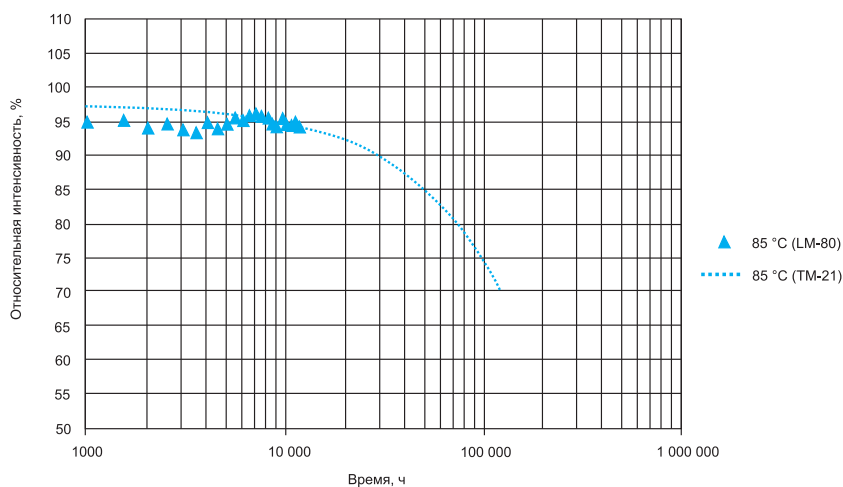


Рис. 1. Результаты испытаний по LM-80 светодиода XT-E Royal Blue при токе 1000 мА и температуре +85 °C

ML-E Color позволяет формировать равномерные светящиеся одноцветные поверхности, однако большой размер корпуса и относительно невысокое значение мощности делает их применение неэффективным при проектировании светильников, требующих фокусировки излучения и хорошего смешения цветов.

Популярная серия СД Xlamp XT-E имеет исполнение с глубоким синим цветом излучения. Фактически, от белой версии XT-E Royal Blue отличает только отсутствие люминофора, при этом СД наследуют все преимущества базовой серии XT-E — стандартный корпус с размерами 3,45×3,45 мм, высокую эффективность и надежность, подтвержденную данными LM-80. На рис. 1 приведен пример результатов испытаний по LM-80 светодиода XT-E Royal Blue для при токе 1000 мА и температуре +85 °С (рис. 1).

СД Xlamp XP-E в линейке цветных СД Cree имеют самый широкий диапазон доступных цветов в стандартном корпусе. Для задач подсветки растений можно обратить внимание на специальные модели с темно-красным цветом свечения — Photo Red (650–670 нм) и Far Red (720–740 нм), что уже даже граничит с ИК-диапазоном.

Серия Xlamp XP-E2 фактически является более современным аналогом серии XP-E с улучшенной эффективностью.

Серия Xlamp XQ-E отличается высоким соотношением мощности на единицу площади источника света. В компактном корпусе размером всего 1,6×1,6 мм, XQ-E имеет сопоставимую с XP-E2 производительность. Благодаря этому серию XQ-E можно отнести к так называемому High Density (HD) классу, т. е. классу СД с высокой плотностью светового потока [15].

Более компактный размер источника света позволяет повысить эффективность и расширить диапазон возможных оптических решений. Так, например, применение одного СД XQ-E с линзой серии FCP13895_SEANNA-A компании LEDiL позволяет сформировать очень узкую кривую светораспределения или кривую силы света (КСС), угол которой составляет 1,1°. В том случае, если необходимо снизить размеры и вес изделия, серия XQ-E также имеет преимущество по сравнению с серией XP-E2: можно использовать вторичную оптику меньшего размера, а также более компактное расположение СД. В качестве примера на рис. 2 показаны варианты расположения СД XP-E2, XB-D и XQ-E для формирования трехцветного (в данном случае RGB) модуля светильника.

Видно, что компактный корпус XQ-E позволяет сократить размеры кластера до уровня, обеспечивающего лучшее смешение цветов в ближней зоне излучения, при этом для фокусировки такого решения можно использовать компактные линзы и рефлекторы.

Также важной особенностью светодиодов XQ-E является наличие версии High Intensity (XQ-E HI) [16], оптимизированной для получения более высокого соотношения кд/лм при применении оптики с узкой КСС. Внешний вид СД данной серии показан на рис. 3.

Конструктивно исполнение XQ-E HI отличается от стандартной версии XQ-E только отсутствием традиционной для большинства дискретных СД куполообразной линзы. Как показано на рис. 4, это позволяет дополнительно снизить размер источника света (поверхность линзы) и увеличить оптическую эффективность вторичной оптики

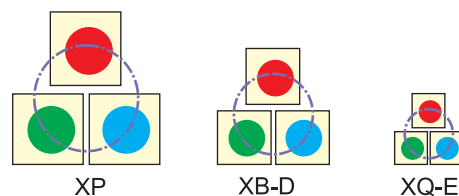


Рис. 2. Варианты расположения светодиодов XP-E2, XB-D и XQ-E в трехцветном модуле



Рис. 3. Внешний вид светодиодов серии XQ-E

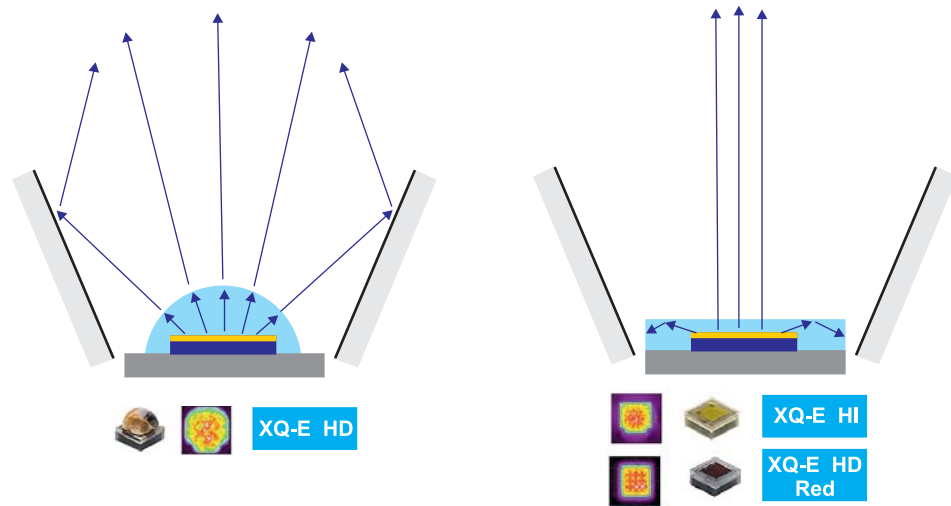


Рис. 4. Схема конструкции источника света на основе светодиодов серии XQ-E

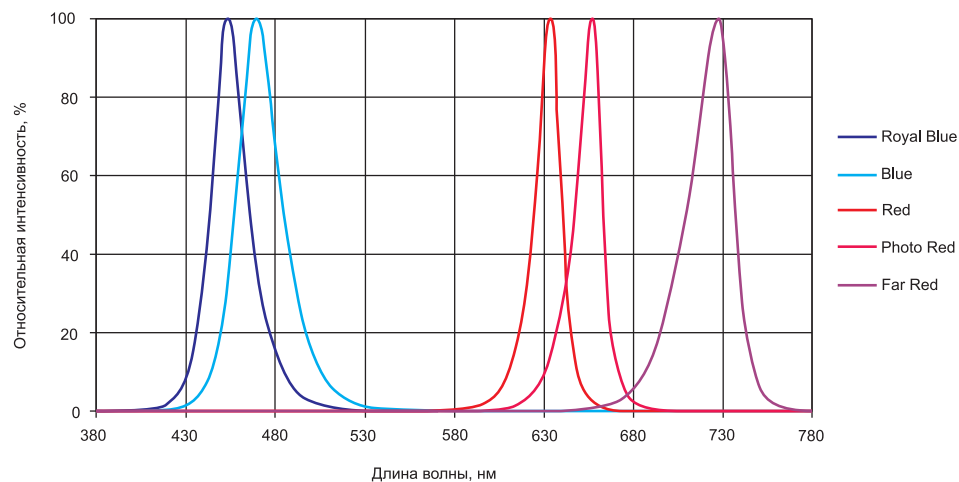


Рис. 5. Типичные спектральные кривые цветных светодиодов серий XT-E, XP-E, XP-E2 и XQ-E, рекомендуемых для использования при освещении растений

для достижения большего значения осевой силы света, несмотря на незначительное уменьшение светового потока.

На рис. 5 представлены типичные спектральные кривые основных цветов, рекомендуемых для использования при освещении растений, доступных для рассмотренных выше СД, а также диапазон номинальных значений мощности и светового потока. Типичные значения мощности излучения и светового потока СД Cree для соответствующих диапазонов длин волн представлены в таблице 2.

Следует также отметить, что все СД имеют стандартные версии с белым светом в диапазоне цветовых температур 2700–8000 К. В некоторых случаях для оптимизации формы спектра излучения светильника для подсветки растений применяются комбинации синего, белого и темно-красного света.

Примеры применения светодиодов в растениеводстве

В настоящее время тема использования СД в растениеводстве приобретает все большую популярность. Рассмотрим подробнее несколько примеров.

Один из первых экспериментов по использованию светодиодных светильников для освещения растений был проведен на кафедре овощеводства и плодоводства на базе Уральской государственной сельскохозяйственной академии [12, 13]. Данный

Таблица 2. Диапазоны значений мощности излучения и светового потока цветных светодиодов Cree, рекомендованных для освещения растений

XLamp	Royal Blue, 450–465 нм	Blue, 465–480 нм	Red, 620–630 нм	Photo Red, 620–630 нм	Far Red, 620–630 нм
XT-E	475–625 мВт				
XP-E	350–500 мВт	31–40 лм	46–74 лм	300–350 мВт	175–250 мВт
XP-E2	450–575 мВт	31–46 лм	57–74 лм		
XQ-E					

эксперимент проводился с целью проверки способности растений развиваться под светом от полупроводниковых источников излучения (СД) от стадии проращивания до стадии плодоношения (появления завязей плодов).

В ходе данного эксперимента на две соседние полки помещались емкости, засеянные семенами растений. Процесс выращивания рассады на обеих полках проходил полностью под искусственным освещением. В первом случае использовались светодиодные светильники, во втором случае — светильники с люминесцентными лампами для растений [12, 13]. Площадь освещенного участка в обоих случаях была одинаковой, растения находились при включенном освещении в течение одинакового времени. Эксперимент состоял из двух повторяющихся этапов для подтверждения правильности полученных результатов.

Результаты эксперимента показали, что семена, освещаемые светодиодными светильниками, прошли за время эксперимента полный цикл от проращивания до плодоношения, тогда как семена, освещаемые светильниками

с люминесцентными лампами, за аналогичное время дошли только до стадии цветения. Такой результат можно объяснить тем, что, в отличие от люминесцентных ламп, светодиодный светильник обеспечивает спектр излучения, необходимый для полного цикла выращивания растений от проращивания до цветения и плодоношения, а спектр люминесцентных ламп не позволяет растениям плодоносить, поэтому эти лампы пригодны только для выращивания рассады. Другим преимуществом светодиодных светильников является низкое выделение тепла, поэтому их можно располагать в непосредственной близости от растений без риска нанести им повреждения.

На рис. 6 показан пример синтеза спектра для освещения растений, оптимизированного по рекомендациям, полученным в результате исследований ученых МакКри и Инада [17, 18]. Для формирования спектра используются СД XP-E2 с цветами Royal Blue, Green, PC Amber (янтарный цвет, полученный путем преобразования излучений синего кристалла с помощью люминофора), а также Photo Red [19].

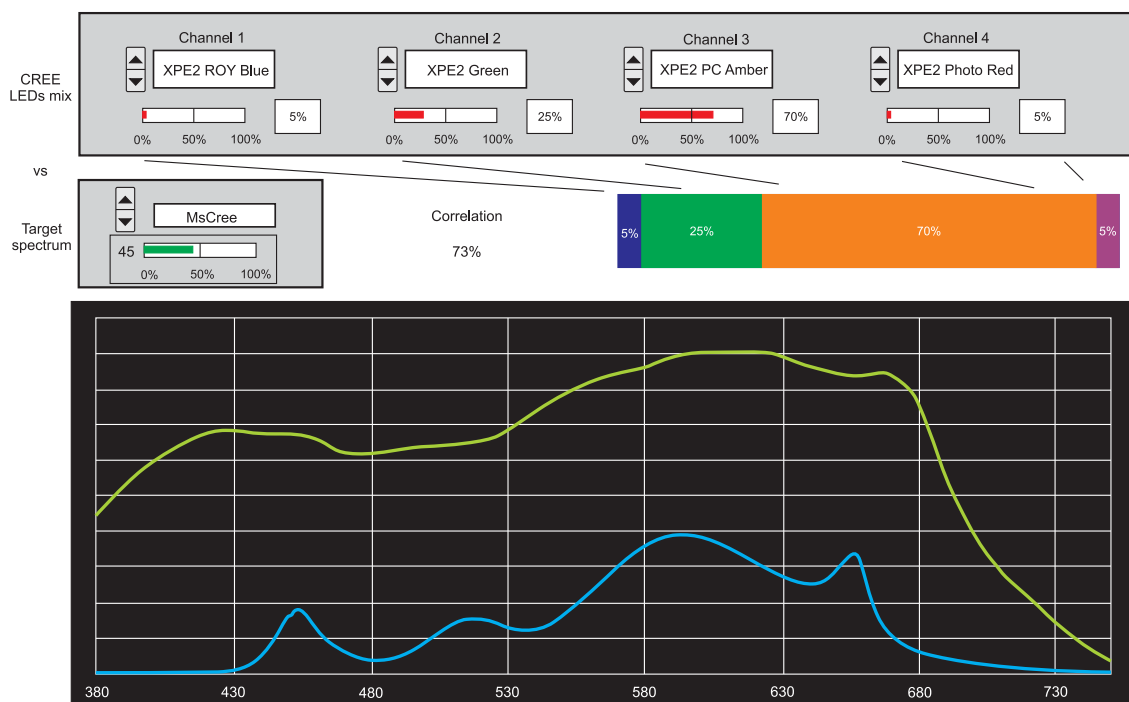


Рис. 6. Пример синтеза спектра для освещения растений

Для моделирования используется аддитивное смешение типовых спектров излучения выбранных СД с эмпирически подобранными весовыми коэффициентами. Критерием оптимизации в данном случае выбирается максимальный коэффициент корреляции функций спектрального распределения синтезированного света и эталонного спектра (Target).

Опыты показывают, что в некоторых случаях хороших результатов при искусственном выращивании зеленых культур можно добиться, применяя белые СД с цветовыми температурами, лежащими в теплом диапазоне (2700–3000 К), и высоким значением индекса цветопередачи. Так, например, хорошим приближением к целевому спектру МакКри, рассмотренному выше, может быть спектр светодиодного модуля CXB2540 [20] с цветовой температурой 3000 К, имеющего специальное исполнение с кодом 30Q. Данный оттенок создан для имитации цвета металлогалогенных ламп, которые также применяются для освещения растений. Спектр такого модуля CXB2540, в сравнении со спектром МакКри, а также его внешний вид, представлены на рис. 7.

Еще одним продуктом, который можно использовать в некоторых задачах искусственного освещения растений, являются готовые светодиодные изделия LMH2 [21]. Основным преимуществом такого подхода является возможность быстрого развертывания систем подсветки без инвестиций в разработку новых светильников. Внешний вид и спектр таких изделий представлен на рис. 8.

Запатентованная технология TrueWhite, применяемая в основном в задачах высококачественного интерьерного освещения, используется для имитации традиционных галогенных ламп и ламп накаливания. При этом можно отметить, что спектр излучения модуля содержит необходимые спектральные компоненты, эффективно воздействующие на описанные выше процессы фотосинтеза растений. Еще одним преимуществом изделий LMH2 является функция Sunset Dimming, которая изменяет цветовую температуру при диммировании модуля, имитируя изменение спектра естественного солнечного света во время восхода и заката. Некоторые исследования показывают, что при имитации циклов день/ночь можно получить лучшие результаты по производительности при выращивании растений в теплицах [22]. Решения на базе LMH2 позволяют максимально приблизить условия освещения в таких системах к естественным.

CXB2540

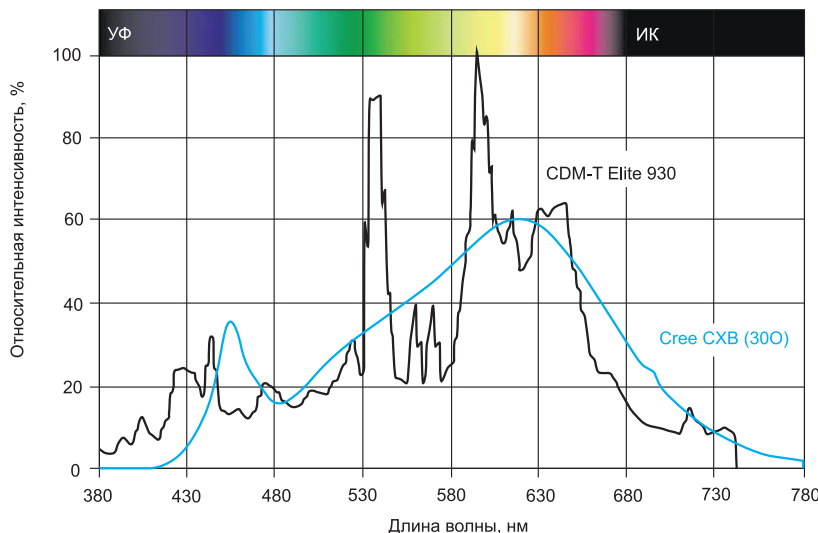


Рис. 7. Внешний вид и спектр светодиодного модуля CXB2540 (специальное исполнение с кодом 30Q)

Перспективы применения светодиодов для освещения теплиц

Напомним, что при освещении светодиодными светильниками семена прошли полный цикл развития, тогда как при

освещении светильниками с люминесцентными лампами они достигли лишь стадии цветения. Это открывает возможность уменьшения времени полного цикла развития растения и увеличения количества периодов плодоношения

LMH2

LMR2

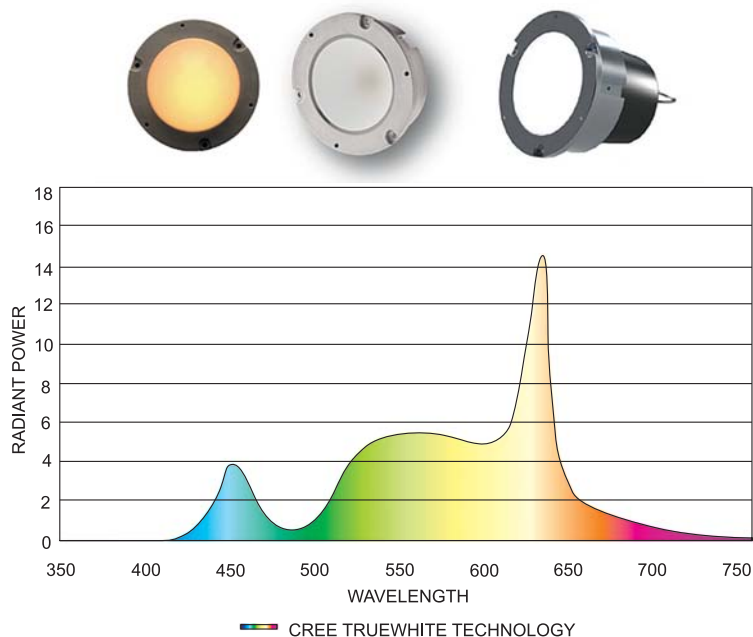


Рис. 8. Внешний вид и спектр светодиодного изделия LMH2 компании Cree

только благодаря подбору спектрального состава светодиодного освещения. Если учесть еще и экономию электроэнергии, а также возможность управления интенсивностью и спектральным составом излучения в зависимости от фазы развития растения, что возможно при применении светодиодных светильников, то экономический эффект от внедрения таких светильников может быть очень существенным.

Следует отметить и другие преимущества СД, например малую потребляемую электрическую мощность и, как следствие, низкое потребление электроэнергии устройствами на их основе. Кроме того, стоит учитывать, что излучение СД направлено, а это позволяет эффективнее использовать источники света на их основе. Также надо принимать во внимание, что время жизни СД превышает время жизни ламп минимум в несколько раз, что делает применение СД крайне эффективным в экономическом плане.

Интенсивность излучения СД зависит от протекающего через кристалл тока. Это позволяет управлять интенсивностью излучения светодиодного светильника, причем относительно легко: путем изменения тока. Если использовать в светильнике СД с разными значениями длины волны излучения, то, изменяя ток для разных СД, можно получать различные по составу и интенсивности спектры излучения и таким образом подбирать спектр светильника в зависимости от конкретного этапа развития растения.

Современные теплицы представляют собой сложные технические комплексы, в большей части роботизированные. Управление ими осуществляется при помощи автоматизированных систем, в которые достаточно органично можно добавить и управление освещением, причем как по интенсивности, так и по спектральному составу излучения, и производить такие управляющие операции по программам, учитывающим фазу развития растений.

Все перечисленное делает светодиодные светильники крайне привлекательными для использования в тепличном освещении. Чтобы оценить их возможности, нужно сравнить параметры светодиодных источников света и ныне применяемых в тепличном хозяйстве ламп.

Заключение

Растения играют важную роль для жизни на Земле, являясь источником различных органических веществ. Свет — важнейший

и необходимый фактор, обеспечивающий как само существование растений, так и протекание всех необходимых процессов — рост, цветение и плодоношение. Существенна также роль растений в обогащении атмосферы кислородом, вырабатываемым посредством фотосинтеза, для которого свет также является необходимым фактором.

Свет нужен растениям как лучистая энергия не только определенной мощности, но и спектрального состава. Современные светодиодные технологии позволяют эффективно заменять традиционно используемые в искусственном освещении растений источники света, создавая более компактные, надежные и эффективные системы. Дополнительным преимуществом описанных светодиодных решений является возможность управления спектром источника на протяжении цикла роста растения (например оптимизация формы спектра для вегетативной и регенеративной фазы), имитация циклов день/ночь и т. д. Номенклатура цветных СД компании Cree позволяет сформировать фактически любой спектр, комбинируя группы дискретных СД. Также некоторые продукты с белым цветом специального оттенка имеют спектр, который может эффективно применяться при искусственном освещении растений. ●

Литература

1. Юнович А. Э. Светодиоды на основе гетероструктур из нитрида галлия и его твердых растворов // Светотехника. 1996. Вып. 5/6.
2. Юнович А. Э. Ключ к синему лучу или о светодиодах и лазерах, голубых и зеленых // Химия и жизнь. 1999. № 5–6.
3. Туркин А. Н. Нитрид галлия как один из перспективных материалов в оптоэлектронике // Компоненты и технологии. 2011. № 5.
4. Туркин А. Н. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 5.
5. Туркин А. Н. Обзор развития технологии полупроводниковых гетероструктур на основе нитрида галлия (GaN) // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 6.
6. Kudryashov V. E., Turkin A. N., Yunovich A. E., Zolina K. G., Nakamura S. Spectra of superbright blue and green InGaN/AlGaIn/GaN light-emitting diodes // Journal of the European Ceramic Society. 1997. Vol. 17.

7. Туркин А. Н., Юнович А. Э. Лауреаты Нобелевской премии 2014 года по физике — И. Акасаки, Х. Аmano, С. Накамура // Природа. 2015. № 1.
8. Золина К. Г., Кудряшов В. Е., Туркин А. Н., Юнович А. Э. Спектры люминесценции голубых и зеленых светодиодов на основе многослойных гетероструктур InGaN/AlGaIn/GaN с квантовыми ямами. ФТП. 1997. Том 31. № 9.
9. Туркин А. Н., Юнович А. Э. Измерения мощности излучения голубых и зеленых InGaN/AlGaIn/GaN-светодиодов с помощью фотопреобразователей из аморфного кремния. Письма в ЖТФ. 1996. Том 22. Вып. 23.
10. Тринчук Б. Ф. Светосигнальная аппаратура на светодиодах // Светотехника. 1997. № 5.
11. Светодиоды и их применение для освещения. Под общей редакцией академика АЭН РФ Ю. Б. Айзенберга. Московский Дом Света. М.: Знак. 2012.
12. Бахарев И., Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы // СТА. 2010. № 2.
13. Прокофьев А. Ю., Туркин А. Н., Яковлев А. А. Перспективы применения светодиодов в растениеводстве // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 5.
14. Сарычев Г., Гаврилкина Г., Туркин А., Репин Ю. Светодиоды и интенсивная светокультура растений // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 1.
15. www.cree.com/OCF
16. www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp/Discrete-Directional/XLamp-XQE-HI
17. K. Inada. Action spectra for photosynthesis in higher plants. Plant Cell Physiol. 17:355–365, 1976.
18. K. J. McCree. The action spectrum, absorbance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. Agr. Meteorol. 9:191–216, 1972a.
19. www.cree.com/led-components-and-modules/products/xlamp/discrete-directional/xlamp-xpe2
20. www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp/Arrays-NonDirectional/XLamp-CXB2540
21. www.cree.com/lmh2
22. Тышкевич Е. В., Шабин С. А., Виноградова Н. Л. Теплица с двойным ритмом суточного освещения растительных культур. <http://kosmin.ru/departs/19/>